

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Kesäkuu 2021

Leevi Ahokas

OLKIBIOMASSAN KÄYTTÖ BIOKAASUPROSESSISSA

Leevi Ahokas

OLKIBIOMASSAN KÄYTTÖ BIOKAASUPROSESSISSA

[Click here to enter text.](#)

Tämän opinnäytetyön tavoitteina oli selvittää oljen käyttöä tilakoon biokaasulaitoksissa ja esitellä yleisimmät biokaasulaitostyytit. Oljen kemiallisia ja rakenteellisia ominaisuuksia tarkastellaan toimivan biokaasutuotannon kannalta. Lisäksi työn teoriaosassa esitellään biokaasuprosessin olennaisimmat vaiheet ja niiden merkitys erityisesti oljen kannalta. Biokaasupotentiaalin selvittämiseksi suunniteltiin ja toteutettiin kaasuntuottotesti AMPTS II-laitteistolla Turun ammattikorkeakoulun Lemminkäisenkadun laboratoriossa. Saatuja tuloksia analysoitiin ja oljen potentiaalia arvioitiin tulosten valossa.

Opinnäytetyö tehtiin Circwaste-hankkeelle, jossa Turun ammattikorkeakoulu on vastuussa tilakoon biokaasulaitoksiin keskittyvässä alueellisesta osahankkeesta. Biokaasun lisääminen auttaa omalta osaltaan fossiilisista polttoaineista luopumista ja hallituksen tavoitetta hiilineutraalista Suomesta vuonna 2035.

Opinnäytetyössä suoritettiin oljen biokaasupotentiaalin mittaus kahdelle eri palakoolle. Oljen lisääminen koepulloihin lisäsi merkittävästi metaanintuottoa 0-näytteisiin verrattuna. Palakoolla ei huomattu olevan oleellista merkitystä metaanintuoton määrään. Suoritetun tutkimuksen ja kirjallisten lähteiden perusteella voidaan todeta oljella olevan potentiaalia tilakoon biokaasulaitosten syöteaineena Suomessa. Lisätutkimusta tarvitaan muun muassa selvittämään, mikä määrä olkea olisi optimaalinen parhaimman biokaasun tuotannon kannalta. Myös oljen vaatimuksia reaktori- sekä prosessityypeille olisi tärkeää selvittää kattavammin.

ASIASANAT:

Biokaasu, olki, metaani, biokaasulaitos, biomassa,biokaasureaktori

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Environmental and energy technology

June 2021 | 32 pages

Leevi Ahokas

USE OF STRAW BIOMASS IN BIOGAS PROCESS

[Click here to enter text.](#)

The objective of this bachelor's thesis was to examine the use of straw biomass in farm scale biogas plants and introduce the most common biogas plant types. Chemical and structural qualities were inspected from the point of view of functioning biogas production. In addition, in the theoretical part of the report the most relevant phases of biogas production are presented especially considering straw biomass. To examine the biogas potential, a gas production test was planned and implemented at Turku University of Applied sciences Lemminkäisenkatu laboratory. The results of the test were analyzed and compared to values in literature.

This bachelor's thesis is written for the Circwaste project, in which TUAS is responsible for a regional subproject focusing on farm scale biogas production. Increasing biogas production helps to reduce the use of fossil fuels and assists in reaching the Finnish government's goal of carbon neutrality by 2035.

In this thesis, measurements of methane production potential for oat straw were conducted. Two different sizes of straw were examined. Adding oat straw to the test bottles increased methane production significantly compared to samples including only inoculum. Sample size was not found to essentially affect the methane production. According to the study conducted and literary sources it can be stated that straw has potential as a feedstock in farm-scale biogas plants in Finland. Further research is needed on finding the optimal amount of straw for best biogas production. Also more information is needed on what kind of requirements straw has for reactor and process types.

KEYWORDS:

Biogas, straw, methane, biogas plant, biomass

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	8
2 OLJEN RAKENNE JA OMINAISUUDET	9
2.1 Oljen rakenne	9
2.2 Oljen käyttö Suomessa	10
2.3 Oljen vertailu yleisimpiin biokaasumassoihin	12
3 BIOKAASU	15
3.1 Biokaasuprosessi lyhyesti	15
3.2 Laitostyypit	17
4 OLJEN METAANINTUOTTOPOSENTIAALIN MÄÄRITYS	19
3.3 AMPTS II -laitteisto	19
3.4 Mittauksen suunnitelma	22
3.5 Tutkimuksen toteutus	23
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	25
LÄHTEET	29

LIITTEET

KAAVAT

KUVAOTSIKKOLUETTELON HAKUSANOJA EI

LÖYTÄNYT.KUVAT

Kuva 1 Päivittäinen ja kumulatiivinen metaanintuotto eri palakoon riisin oljilla (Dai ym. 2019)	11
Kuva 2 Toiminnassa olevat biokaasulaitokset vuoden 2017 lopussa (Winqvist ym. 2018)	15

Kuva 3 Hajoamisreaktion päävaiheet ja orgaanisen aineen hajoaminen (Kymäläinen ja Pakarinen 2015)	16
Kuva 4 Testilaitteisto kokonaisuudessaan, vasemmalta oikealle: koepullot vesihauteessa, hiilidioksidin poistoliuos sekä metaanin mittausanturit	20
Kuva 6 Reaktorit ja sekoitusmoottorit vesihauteessa	21
Kuva 7 Valmiit olkinäytteet rinnakkain	22
Kuva 8 Näytteiden nettometaanintuotto ajan suhteen	25

TAULUKOT

Taulukko 1. Suomessa vuosittain syntyvät biokaasuntuotantoon ja ravinteiden kierrätykseen soveltuvat biomassat. Arvion on toteuttanut Luonnonvarakeskus. (TEM 2020).	14
Taulukko 2. Näytteiden painot sekä TS/VS- pitoisuudet.	23
Taulukko 3. Koepullojen nimet ja sisällöt.	24

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

AMPTS II	The Automatic Methane Potential Test System, metaanin-tuoton mittaamiseen tarkoitettu tutkimuslaitteisto (Bioprocess control, 2020).
Biomassa	Biomassalla tarkoitetaan uusiutuvia luonnonvaroja, kuten metsää ja peltoja. Käsitettä käytetään usein silloin, kun kasveja käytetään polttoaineena tai raaka-aineena. (Opetushallitus, 2021)
Biokaasu	Biokaasu on kaasuseos, joka sisältää noin 40-70% metaania, noin 30-60% hiilidioksidia ja pieniä pitoisuuksia muun muassa rikkiyhdisteitä. (biokierto.fi. 2020)
Fossiilinen polttoaine	Fossiiliseksi polttoaineiksi lukeutuu aineita, jotka ovat eloperäisistä aineista pitkän ajan kuluessa muokkautuneita polttoaineita. Ne ovat uusiutumattomia luonnonvaroja ja niitä ovat esimerkiksi kivihiili, öljy ja maakaasu. (Motiva, 2020)
Hiilineutraalius	Hiilineutraalius tarkoittaa tilannetta, jossa hiilidioksidipäästöjä ei synny enempää kuin mitä voidaan sitoa ilmakehästä hiilinieluihin, kuten metsiin ja maaperään. (Euroopan parlamentti, 2020)
Metaani	Metaani, kemialliselta merkiltään CH ₄ , on hiilivety ja alkaani. Metaanin palamisreaktiosta syntyy lämpöenergiaa. (Ucar, 2012)
Mädätys	Mädätys on entsyymiprosessi, joka tarvitsee hapettomat olosuhteet ja erilaisia mikrobeja prosessin eri vaiheissa. Mädätyksen seurauksena orgaanisesta aineksesta syntyy biokaasua (Vaisala. 2019)
TS	Kuiva-ainepitoisuus (Total solids)
VS	Orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta (Volatile solids)

Ympäri

Tässä työssä ympäriä tarkoitetaan toimivan biokaasuprosessin mädätettä, joka sisältää valmiin mikrobikannan

1 JOHDANTO

Uusiutuvan energian tuotantoa pyritään lisäämään maailmanlaajuisesti sekä Suomessa. Suomella ja EU:lla on energia- ja ilmastostrategioita, jotka tähtäävät ilmastonmuutoksen hillitsemiseen sekä fossiilisista polttoaineista luopumiseen. Biokaasu on ympäristöystävällistä uusiutuvaa energiaa, ja monet biokaasuhankkeet ovatkin saaneet työ- ja elinkeinoministeriön energiakärkihankkeille maksettavaa tukea. (Motiva 2019; Työ- ja elinkeinoministeriö 2020) Pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelmassa Suomelle laaditaan kansallinen biokaasuohjelma, jonka tavoitteena on lunastaa biokaasun tuotantoponteti-aali sekä myös edistää ilmastotavoitteisiin pääsyä. Kansallisen biokaasuohjelman lisäksi hallitusohjelmassa on muitakin biokaasun tuotannon lisäämiseen tähtääviä kirjauksia, kuten ravinnekiertoon perustuva biokaasun tuotantotuki. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020)

Tilakoon biokaasulaitoksia on Suomessa noin 20, ja yleisin niissä käytettävä raaka-aine on tuotantoeläinten lietalanta. Olkea hyödynnetään niukasti, vaikka sillä on määrällisesti suuri potentiaali. (biokierto.fi. 2020)

Opinnäytetyössä suoritettiin oljen metaanintuottopotentialin selvitys AMPTS-laitteistolla. Olkea esikäsiteltiin mekaanisesti kahdeksi eri palakooksi, ja tutkimushypoteesina oli, että pienempi palakoko tuottaisi enemmän metaania kuin isompi palakoko.

2 OLJEN RAKENNE JA OMINAISUUDET

Tässä opinnäytetyössä oljella tarkoitetaan viljakasvien eli Suomessa yleisimmin ohran, vehnän, kauran sekä rukiin viljelyn sivutuotteena syntyvää biomassaa. Rikki puidusta oljesta voidaan käyttää nimitystä pahna, esimerkiksi kauran pahna.

2.1 Oljen rakenne

Oljen biokemiallisen rakenteen suurimmat yhdisteet ovat hemiselluloosa, selluloosa sekä ligniini. Tamaki & Mazza (2010) määrittävät tutkimuksessaan usean eri viljalajikkeen biokemialliset koostumukset. Taulukosta 1 selviää, että eri viljalajikkeilla biokemiallisten rakennusaineiden suhteet ovat samankaltaisia: glykaanit suurimpana, jonka jälkeen ligniinit ja kolmantena proteiinit.

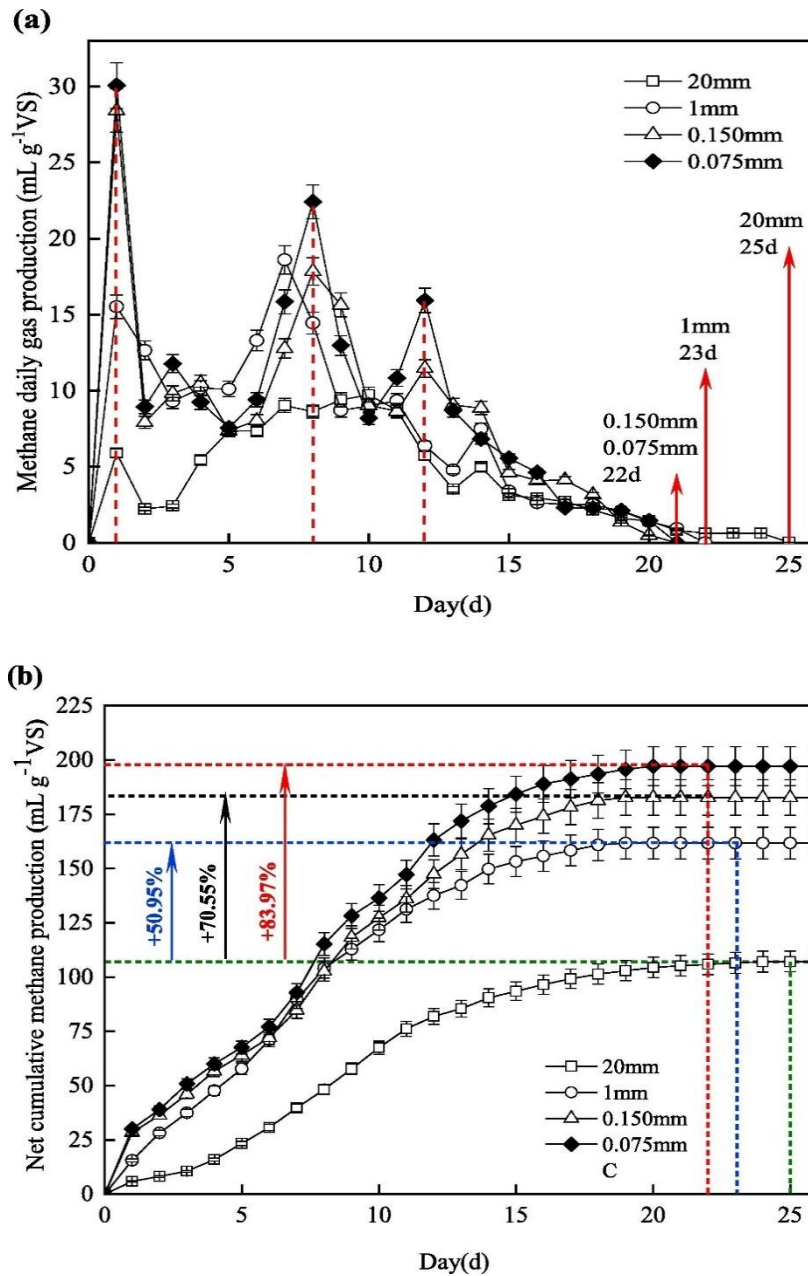
Taulukko 1 Eri viljalajikkeiden biokemialliset koostumukset

	Kanadan preeria kevät- vehnä	Durum- vehnä	Ohra	Kaura	Ruisvehnä	
					AC Ultima	Pronghorn
Glykaanit	66,97	68,82	68,54	68,94	70,90	71,45
Glukaani	42,14	44,11	44,67	43,77	43,18	42,71
Ksylaani	21,36	21,6	20,41	21,89	23,66	25,28
Galaktaani	0,86	0,92	1,03	1,0	1,06	1,11
Arabinaani	1,69	1,73	2,04	2,01	2,25	2,19
Mannaani	0,92	0,46	0,4	0,28	0,76	0,16
Ligniinit	20,69	20,92	20,78	20,24	18,34	18,41
Happoon liukenetto- mat	19,52	19,68	19,53	19,08	17,03	17,13
Happo- liukoiset	1,17	1,24	1,24	1,16	1,32	1,28
Proteiinit	4,02	2,54	2,88	2,09	3,68	2,53
Uronihapot	1,59	1,75	2,02	1,71	1,73	2,02

Asetyyli	2,27	2,56	2,06	1,93	2,34	2,80
Tuhka	1,36	1,54	1,19	1,60	1,63	1,10
Uuteaineet	3,11	1,86	2,53	3,48	1,38	1,69

2.2 Teoriaa

Erilaisten olkimateriaalien metaanintuottopotentiaalia on tutkittu useissa tutkimuksissa. Monissa tutkimuksissa on myös testattu oljen eri esikäsittelymenetelmien vaikutusta metaanintuottoon. Dain ym. (2019) suorittamassa tutkimuksessa saatiin selvä yhteys pienemmän palakoon ja suuremman metaanintuoton välille. Tutkimuksessa pienin palakoko (0,075 mm) tuotti metaania parhaiten, kun taas suurin palakoko (20 mm) vähiten. Pienimmän palakoon oljet tuottivat noin 84 % enemmän metaania kuin suurimman palakoon näytteet. Tutkimuksessa käytettiin riisin olkea.



Kuva 1 Päivittäinen ja kumulatiivinen metaanintuotto eri palakoon riisin oljilla (Dai ym. 2019)

2.3 Oljen potentiaali

Valtaosa Suomen biokaasupotentiaalista on maatalouden biomassoissa. Maatalouden biomassat kattavat kokonaispotentiaalista 86 %. Suurimpana maatalouden biomassoista ovat lanta, olli ja nurmi. Niiden hyödyntäminen olisi helpointa tilakoon tai useamman tilan yhteisissä biokaasulaitoksissa, jolloin raaka-aineen ja mädätteen kuljetusetäisyydet

pysyvät kohtuullisina. (Luke 2018) Oljen ligniiniä sisältävä koostumus aiheuttaa haasteita mädätykselle, sillä kuitua ja ligniiniä sisältävät biomassat mädättyvät heikommin. (Motiva 2018)

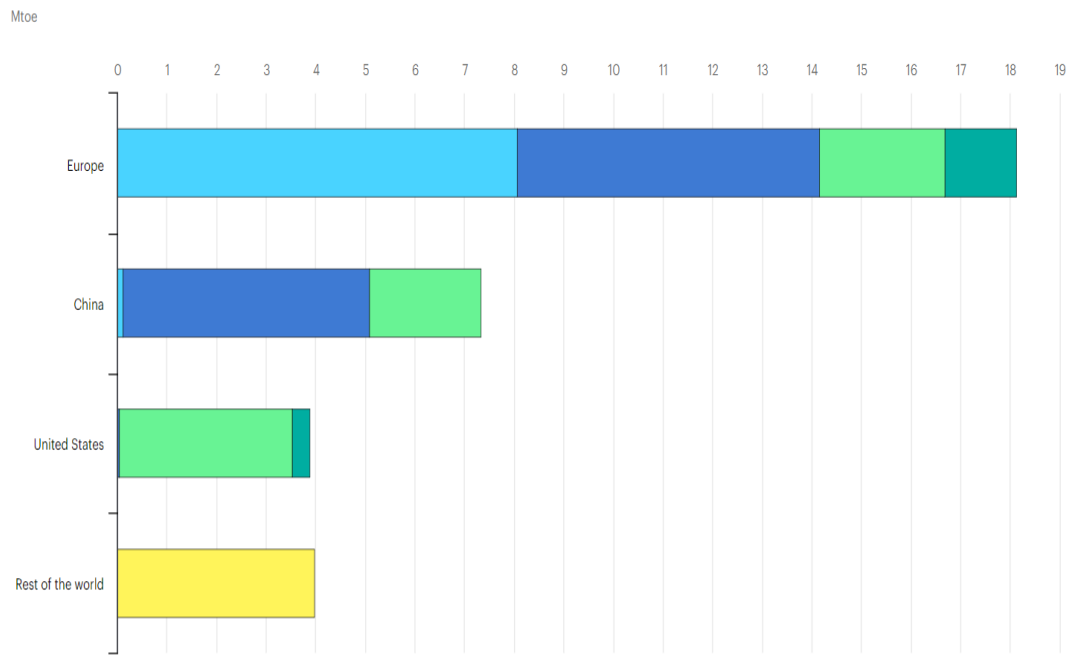
2.4 Oljen käyttö Suomessa

Hyödyntämiskelpoista olkea muodostuu Suomessa arviolta noin 2,9 miljoonaa tonnia vuosittain. Kuiva-aineosuuden ollessa oljelle tyypillinen 86 %, olkea muodostuisi 2,5 miljoonaa kuiva-ainetonna. Oljen määrällinen potentiaali on siis merkittävä, vaikka vain osa oljen kokonaismäärästä käytettäisiin biokaasun raaka-aineena. Olkea käytetään Suomessa tyypillisesti kuivikkeena tai se kynnetään peltoon parantamaan pellon ominaisuuksia. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 38)

Olkea ei Suomessa vielä juurikaan käytetä biokaasuntuotannon raaka-aineena. Erkki Kalmarin maitotilan biokaasulaitos Laukaan Leppävedellä on yksi harvoista olkea raaka-aineena käyttävistä laitoksista. Oljen ohella laitoksessa käytetään myös nurmea sekä haketta. Olki sopii suuren kuiva-ainepitoisuuden takia paremmin kuivareaktoriin. (moottori.fi 2015)

2.5 Oljen käyttö Euroopassa

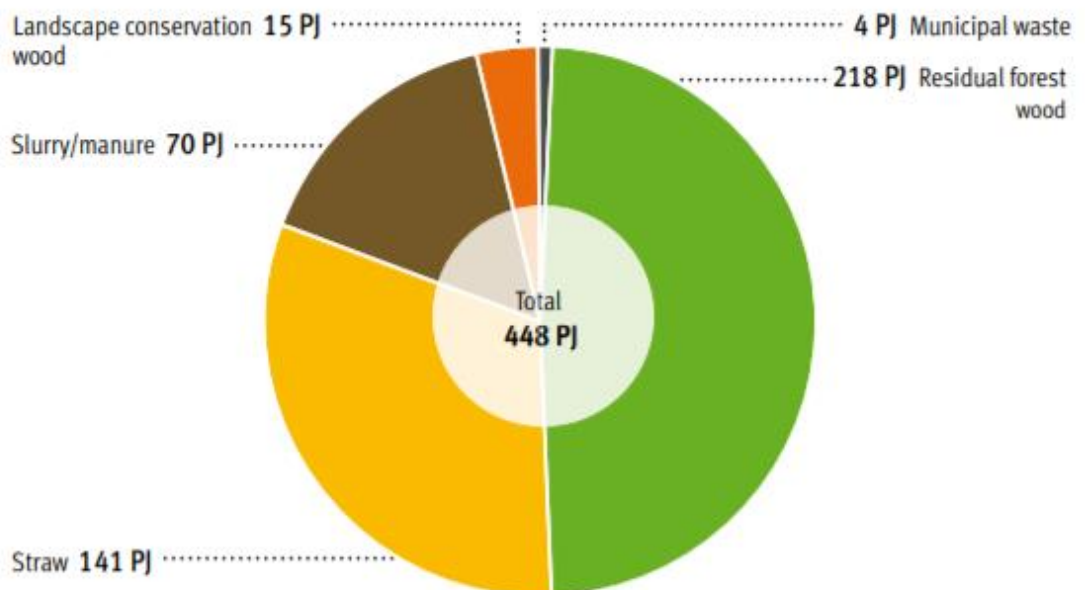
Euroopassa tuotettiin vuonna 2019 biokaasua yhteensä 167 Terawattituntia ja biokaasulaitoksia oli 18 943 kappaletta. Kuvasta 1 ilmenee, että peltobiomassat sekä eläinten lanta ovat suurimmat syötetyypit Euroopassa. (EBA 2020)



● Crops ● Animal manure ● Municipal solid waste ● Municipal wastewater

Kuva 1 Biokaasun tuotanto syötetyypeittäin Euroopassa ja maailmalla (IEA, 2018)

Unused potentials from biogenic residual and waste materials



Kuva 2 Käyttämättömät biomassapotentialit Saksassa (FNR, 2019)

Kuvassa 2 on esitetty Saksan käyttämättömiä biomassapotentiaaleja vuonna 2019. OI-

jella on siis suuri käyttämätön potentiaali. Saksassa on käynnistetty lisätutkimusta oljen käytöstä biokaasun tuotannossa. (Etip bioenergy, 2021)

2.6 Olki ja muut maatalouden biomassat

Suomen biokaasun tuotantopotentiaalista suurin osa on maatalouden erilaisissa biomassoissa. Maatalouden biomassoja ovat esimerkiksi erilaiset nurmet, tuotantoeläinten lanta sekä tuotannossa syntyvät sivuvirrat kuten oljet ja naatit. Taulukossa 2 on listattu biokaasun tuotantoon parhaiten soveltuvat biomassat. Huomionarvoista on, että oljella on taulukon suurin energiapotentiaali (terawattituntia vuodessa). (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020)

Taulukko 2. Suomessa vuosittain syntyvät biokaasuntuotantoon ja ravinteiden kierrätykseen soveltuvat biomassat. Arvion on toteuttanut Luonnonvarakeskus (TEM 2020).

Biomassa	Saatavilla oleva määrä (t/a)	Typpi (t/a)	Fosfori (t/a)	Energiapotentiaali biokaasuna (TWh/vuosi)
Kotieläinten lanta	15 500 000	74 600	18 500	3,94
Säilörehunurmi*	3 485 000	26 765	3 030	3,29
LHP ja suojavyöhykkeiden nurmi	1 210 600	6 300	970	1,22
Olki**	2 840 400	12 800	2 560	6,76
Yhdyskuntien puhdistamoliete***	4 725 000	8 300	4 540	0,27
Yhdyskuntien biojäte****	357 400	2 200	400	0,41
Teollisuuden biohajoavat jätteet	337 200	2 240	770	0,19
YHTEENSÄ	24 970 600	133 205	30 770	16,08

* viljelyala 205 000 ha, keskisato 17 t/ha tuorepainona

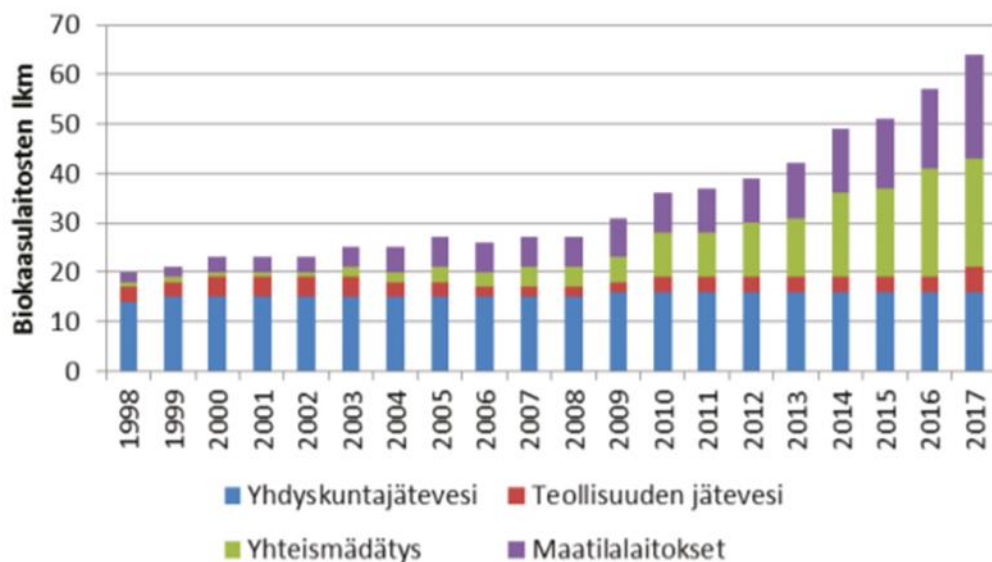
** 20 % poistettu arviona tällä hetkellä kuivikkeeksi korjattavana osuutena

*** puhdistamoliete ennen tiivistystä tai kuivausta, kuiva-ainepitoisuus 3,2 %

**** erilliskerätyn biojätteen määrä, joka on tällä hetkellä noin 40 % syntyvästä

3 BIOKAASU SUOMESSA

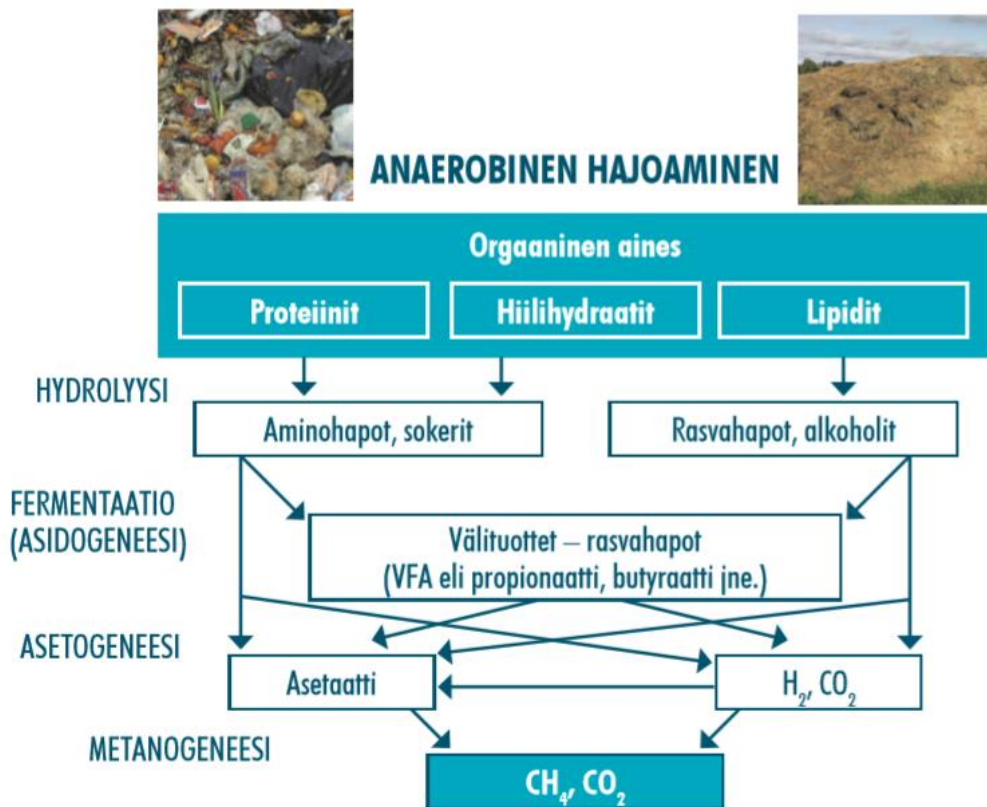
Biokaasu on kotimaista ja uusiutuvaa energiaa, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita niin liikenteessä kuin energian tuotannossakin. Samalla biokaasu varmistaa tehokkaan ravinteiden kierrätyksen. Laaja biokaasun tuotanto on olennainen osa Suomen tavoittaessa olla hiilineutraali 2030-luvulla. Biokaasun tuotanto Suomessa oli vuonna 2018 noin yhden terawattitunnin luokkaa. Monet alan toimijat ja järjestöt ovat kirjoittaneet julkilausuman, joissa he sitoutuvat neljän terawattitunnin tuotantotavoitteeseen ja ehdottavat sitä myös valtakunnalliseksi tavoitteeksi vuoteen 2030 mennessä. (biokierto.fi, 2020) Kuvassa 2 on eroteltu Suomessa toiminnassa olevat biokaasulaitokset.



Kuva 2 Toiminnassa olevat biokaasulaitokset vuoden 2017 lopussa (Winqvist ym. 2018)

3.1 Biokaasuprosessi

Biokaasua syntyy, kun erilaiset mikro-organismit hajottavat orgaanista ainetta anaerobisessa tilassa. Hajoamisprosessi koostuu neljästä toisistaan riippuvaisesta päävaiheesta: hydrolyysi, fermentaatio, asetogeneesi sekä metanogeneesi. Tietty vaihe tarvitsee edellisen vaiheen hajoamistuotteita syötteenään. Jos vaiheiden välinen yhteistyö ei toimi, voi biokaasuntuotanto heiketä. (Kymäläinen ja Pakarinen 2015 s.60)



Kuva 3 Hajoamisreaktion päävaiheet ja orgaanisen aineen hajoaminen (Kymäläinen ja Pakarinen 2015)

Hydrolyysi on ensimmäinen biokaasuprosessin neljästä päävaiheesta. Siinä hiilihydraatit, proteiinit, rasvat ja muut suuret orgaaniset molekyylit hajoavat pienemmiksi osiksi ja muuttuvat liukoiseen muotoon. Mikrobisolut eivät suoraan pysty käyttämään isoja molekyylejä ravinnokseen, vaan ne tuottavat entsyymejä, jotka hajottavat molekyylit solujen ulkopuolella. Hajottajaensyymeitä tuottavia mikrobeja kutsutaan hydrolyyttisiksi bakteereiksi.

Toista vaihetta kutsutaan asidogeeniksi lopputuotteiden mukaan. Tässä vaiheessa mikrobien muuttavat hydrolyysin lopputuotteita kuten sokereita ja aminohappoja erilaisiksi hapoiksi sekä alkoholeiksi. Syntyneistä hapoista käytetään yhteisnimitystä haihtuvat rasvahapot. Lisäksi reaktiossa syntyy ammoniakkia, vetyä sekä hiilidioksidia. Toiseen prosessin vaiheeseen osallistuu monia erilaisia mikrobeja, joista osa osallistuu myös ensimmäiseen vaiheeseen, hydrolyysiin.

Kolmatta vaihetta kutsutaan asetogeneesiksi eli anaerobiseksi hapettumiseksi. Tässä vaiheessa edellisen vaiheen aikana syntyneistä aineista muodostuu metaanin valmistukseen tarvittavia komponentteja: vetyä, hiilidioksidia sekä asetaatteja. Anaerobisessa hapettumisessa asetogeenit käyttävät hapettuneita yhdisteitä, kuten sulfiitteja, nitraatteja sekä karbonaatteja, elektronien vastaanottajina, jolloin ne pelkistyvät. Tyypillisesti asetogeeniset bakteerit toimivat symbioosissa seuraavan vaiheen metanogeenien kanssa. Tällainen symbioosi on nimeltään syntrofinen yhteys. Symbioosissa asetogeenit tuottavat ja metanogeenit käyttävät vetyä tasapainoisesti. Liian suuri vetypitoisuus haittaa asetogeenien toimintaa, joten metanogeenien tehokas vedyn muuntaminen metaaniksi on prosessin kannalta tärkeää

Neljäs ja viimeinen biokaasuprosessin vaiheista on nimeltään metanogeesi eli metaanin muodostuminen. Metanogeenit tuottavat metaania ja hiilidioksidia eli biokaasun komponentteja asetaatista, hiilidioksidista sekä vedystä. Metaanin muodostumisesta arvioidaan tapahtuvan noin 70 % asetaattia käyttävän metanogeenin avulla. (Kymäläinen ja Pakarinen 2015)

3.2 Laitostyypit

Biokaasulaitokset jaetaan yleisesti prosessin ominaisuuksien mukaan märkä- ja kuivailaitoksiin. Laitostyyppi valitaan raaka-aineiden ominaisuuksille sopivaksi. Prosessien olennaisin ero on syötemateriaalin kuiva-ainepitoisuus. Märkäprosessissa syötemateriaalin maksimi kuiva-ainepitoisuus on n. 15 % luokkaa, ja tyypillisimmät syötteet ovatkin lietemäisiä materiaaleja. Kuivaprosessissa kuiva-ainepitoisuus on 20–40 % välillä, ja tyypilliset syötemateriaalit ovat kuivia ja kasassa pysyviä. Kotimainen laitosvalmistaja on myös kehittänyt Kiintömädätys-nimisen prosessin, jossa märkäprosessin kuiva-ainepitoisuus voi olla jopa noin 20 %. Tämä mahdollistetaan syötettävän massan pilkkomisella erittäin pieneksi ennen prosessiin syöttöä. Reaktoriteknikoita jaotellaan myös syötemateriaalin syöttötavan mukaan jatkuva- ja panostoimisiin reaktoreihin. Jatkuvatoimisiin reaktoreihin syötetään raaka-ainetta sekä poistetaan mädätettä tasaisin väliajoin. Tämä

tapahtuu usein pumppaamalla massoja reaktoriin ja sieltä pois. Panostoisessa reaktorissa raaka-aineet syötetään reaktoriin, jonka jälkeen reaktori suljetaan ja kaasun muodostuminen alkaa. Kaasuntuotto ei ole panostoisessa prosessissa tasaista, vaan alussa pienempää ja kasvaen ajan kuluessa. Märkäprosessit ovat aina jatkuvatoimisia, kun taas kuivaprosesseja voi olla panos- tai jatkuvatoimisia. Jatkuvatoimisesta kuivaprosessista ei kuitenkaan ole vielä kovinkaan paljon onnistuneita kokeiluja Suomessa. (Riihimäki ym. 2014)

4 OLJEN METAANINTUOTTOPOTENTIAALIN MÄÄRITYS

Oljen soveltuvuutta biokaasuntuotantoon havainnollistettiin määrittämällä oljen metaanintuottopotentiaali laboratoriolosuhteissa. Mittaus suoritettiin Lemminkäisenkadun kampuksen laboratoriossa. Tässä kappaleessa perehdytään tarkemmin käytettyyn laitteistoon ja työvaiheisiin. Tutkimuksessa käytettiin AMPTS-laitteistoa, jonka koepulloihin laitettiin kauran olkea sekä ymppeä aktiivisesta biokaasureaktorista. Tutkimuksen tarkoituksena oli saada selvyyttä palakoon ja metaanintuoton mahdolliseen yhteyteen.

4.1 AMPTS II -laitteisto

AMPTS (The Automatic Methane Potential Test System) -laitteisto on ruotsalaisen Bioprocess control AB:n valmistama tutkimuslaitteisto, joka on tarkoitettu monenlaisten anaerobista metaanintuottoa ja biohajoavuutta mittaavien tutkimusten suorittamiseen. Laitteisto koostuu 15 rinnakkaisesta vesihautteessa olevasta reaktorista, joille kaikille on oma metaanintuottoa laskeva virtausanturi. Reaktorien jälkeen muodostunut kaasu johdetaan natriumhydroksidia (NaOH) sisältävien pullojen läpi, jossa kaasusta liukenee pois hajoamisreaktiossa syntynyt hiilidioksidi, ja vain metaani kulkee virtausantureille. Jokaisella reaktoripullolla on oma moottorilla toimiva sekoittaja, joiden pyörimisnopeus on säädettävissä. (Kuva 5) Laitteiston mukana tulee tietokoneohjelma, joka piirtää kuvajaat kaikkien reaktoreiden metaanintuotoista. (Bioprocess control 2020.)



Kuva 5 Reaktorit ja sekoitusmoottorit vesihautteessa

4.2 Mittauksen suunnitelma

Tähän mittaukseen käytössä oli yhdeksän lasista 500 millilitran reaktoria. Vertailukohdan saamiseksi kolmeen reaktoriin laitettiin ainoastaan ymppeä. (0-näyte) Tutkimukseen tarvittava ymppe haettiin Ruskolla sijaitsevasta biokaasulaitoksesta. Yksi tämän tutkimuksen tavoitteista oli saada näyttöä oljen palakoon vaikutuksesta metaanintuottoon, samoin kuin Dai ym. (2019) tutkimuksessaan saivat (2.2). Jotta palakoon ja metaanintuoton välille mahdollisesti syntyvä yhteys on tarpeeksi selvä, tulee palakokojen ero olla riittävän suuri. Kuvan 1 tuloksien perusteella oljen palakoot päätettiin olevan 1 cm ja 3 mm. Dain tutkimuksessa palakoot olivat 20 mm, 1 mm, 0,150 mm ja 0,075 mm. Suoritetussa tutkimuksessa palakoot olivat suurempia eikä kokoero yhtä huomattava. Isommat olkipelat leikattiin tavallisia saksia käyttäen, kun taas pienempi palakoko saatiin laittamalla olkea veitsimyllyyn käyttäen kolmen millimetrin ritilää. Mittauksessa käytetty olki oli kauran paalattua pahnaa, joka saatiin Loimaalla sijaitsevalta maatilalta. Kumpaakin palakoa varten oli kolme rinnakkaista reaktoria. (pieni taulukko reaktoreista ja niiden sisällöstä)



Kuva 6 Valmiit olkinäytteet rinnakkain

4.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen toteutus aloitettiin, kun uunissa lämmitettiin olkinäytettä yön yli tarkoituksena haihduttaa näytteessä oleva neste. Toimenpide on tarpeellinen TS- ja VS-pitoisuuksia määrittäessä. Ympin ja oljen optimaalisen suhteen arvioimiseksi oli tarpeen laskea molempien TS- ja VS-pitoisuudet. (standardi SFS 3008)

Kun olkinäyte oli ollut 13 tuntia uunissa 100 celsius-asteen lämpötilassa, kaikki neste on haihtunut ja työskentely Lemminkäisenkadun laboratoriossa voitiin aloittaa. Tämän jälkeen ymppeä sekä olkea annosteltiin upokkaisiin, näytteet punnittiin ja siirrettiin lämpökaappiin, jotta niistä saadaan neste haihtumaan. Lämpökaapissa ne olivat seuraavaan päivään asti. Seuraavana päivänä lämpökaapissa olleet olki- ja ympinnäytteet punnittiin ja sen jälkeen laitettiin n. 500 celsius-asteeseen muhveliuuniin tunnin ajaksi. Uunissa näytteiden orgaaninen aines palaa pois, ja jäljelle vain epäorgaaninen aines. Kun uunista tulleet näytteet punnittiin, voitiin laskea orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta (VS-pitoisuus) sekä kuiva-ainepitoisuus (TS-pitoisuus).

Taulukko 3 Näytteiden painot sekä TS/VS- pitoisuudet

näytteen kuvaus	Punnittu massa (g)				TS%	VS(%TS)	VS%
	upokas	näyte	lämpökaapin jälkeen	uunin jälkeen			
ymppe 1	38,066	41,334	40,886	38,735	6,822471	76,2766	5,203948
ymppe 2	34,761	41,657	37,637	35,447	6,904002	76,14743	5,25722
ymppe 3	36,606	48,752	39,947	37,386	6,853052	76,6537	5,253118
				keskiarvo	6,86	76,4	5,24
olki 1	42,07	2,07	43,983	42,245	92,41546	90,85206	83,96135
olki 2	40,05	2,16	42,046	40,218	92,40741	91,58317	84,62963
olki 3	39,95	2,220	42,008	40,1520	92,7027	90,18465	83,6036
				keskiarvo	92,51	90,9	84,06

Kun näytteiden ominaisuudet oli selvitetty, voitiin laskea biokaasun muodostumiselle optimaalinen oljen ja ympin suhde. Varsinaisen syötteen ja ympin suhde (eng. inoculum to substrate ratio, I/S -ratio) on tärkeä biokaasuprosessiin vaikuttava tekijä. (Kameswari

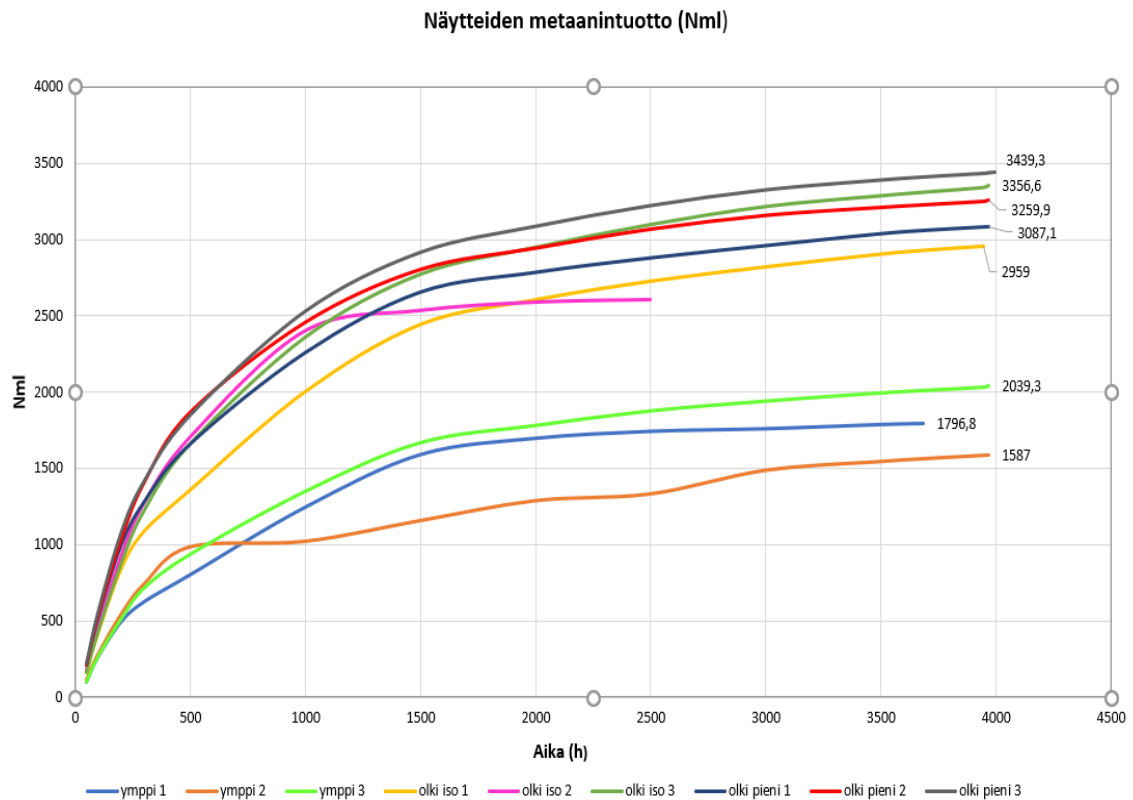
ym. 2012) Jokaiseen koepulloon laitettiin yhteensä 400 grammaa näytettä. Olkea sisältäviin näytteisiin olkea tuli viisi grammaa ja ymppeä 395 grammaa. 0-näytettä kolme pulloa sekä kumpaakin oljen palakokoa kolme pulloa.

Taulukko 4 Koepullojen nimet ja sisällöt

Pullon numero	Nimi tutkimuksessa	Ymppeä(g)	Olki(g)	Oljen osuus massasta(%)
Koepullo 1	Ymppe 1	400	0	0
Koepullo 2	Ymppe 2	400	0	0
Koepullo 3	Ymppe 3	400	0	0
Koepullo 4	Olki iso 1	395	5	1,25
Koepullo 5	Olki iso 2	395	5	1,25
Koepullo 6	Olki iso 3	395	5	1,25
Koepullo 7	Olki pieni 1	395	5	1,25
Koepullo 8	Olki pieni 2	395	5	1,25
Koepullo 9	Olki pieni 3	395	5	1,25

5 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Oljen metaanintuottopotentialin selvitys päättyi, kun näytteiden metaanintuotanto ei enää jatkunut merkittäväällä tasolla. Ilman koronaviruksen aiheuttamia rajoituksia sekä etätyösuosituksia, tutkimus oltaisiin lopetettu jo hieman aiemmin. Metaanintuotanto loppuu, kun mikrobeille ei enää riitä ravintoa, tässä tapauksessa olkea. AMPTS-laitteiston antamista luvuista koostettiin tuloksia havainnollistava kaavio (kuva 8), joka helpottaa johtopäätösten tekemistä. Kaavioon on merkitty kunkin kuvaajan päätepisteen arvo.



Kuva 7 Näytteiden nettometaanintuotto ajan suhteen

5.1 Kokeen tulokset

Tutkimus kesti noin 5,5 kuukautta, jonka jälkeen parhaiten metaania oli tuottanut pienen palakoon olkinäyte 3 440 ml. Olki iso 2 -näyte antoi virheellisen tuloksen irronneen letkun takia, joten sitä ei voida ottaa huomioon tuloksia tarkastellessa. Myös Ympppi 2 -näyte

antoi tuloksen, joka eroaa selvästi kahdesta muusta 0-näytteestä, joten sitä ei voitu ottaa huomioon laskelmia tehtäessä. Kuvaajasta käy selvästi ilmi, että 0-näytteet tuottivat vähemmän metaania kuin olkea sisältävät näytteet. Oljen lisääminen siis kasvatti metaanintuottoa. Seuraavaksi lasketaan loppuarvojen keskiarvot kaikista kolmesta näytteryhmästä.

$$0\text{-näytteiden ka: } \frac{1796,8+2039,3}{2} = 1917,65 \text{ (ml)}$$

$$\text{Ison palakoon olkinäytteiden ka: } \frac{2959+3356,6}{2} = 3157,8 \text{ (ml)}$$

$$\text{Pienen palakoon olkinäytteiden ka: } \frac{3439,3+3259,9+3087,1}{3} = 3262,1 \text{ (ml)}$$

Tutkimuksessa saatiin hyvin selville oljen positiivinen vaikutus metaanintuottoon. Pienellä oljen osuudella (1,25%) saatiin suuri lisäys metaanin tuotantoon. Pienemmän palakoon ja suuremman metaanintuoton välille ei saatu merkittävää korrelaatiota, mutta pienen palakoon näytteiden metaanintuoton keskiarvo on kuitenkin ison palakoon näytteitä suurempi. Ison palakoon keskiarvo on 65% 0-näytteiden keskiarvoa suurempi ja pienen palakoon ka on 70% suurempi. Pienen palakoon ka oli 3,3% suurempi kuin ison palakoon ka. Pienen eron lisäksi näytteistä toiseksi eniten metaania tuotti ison palakoon koepullo. Alla olevassa kuvaajassa on havainnollistettu näytteiden keskiarvojen suhteet. Todellisuudessa kuvaajat jatkuisivat pidempään, mutta vertailukelpoisuuden vuoksi kuvaajat katkeavat pienimmän metaanintuottoarvon kohdalle.

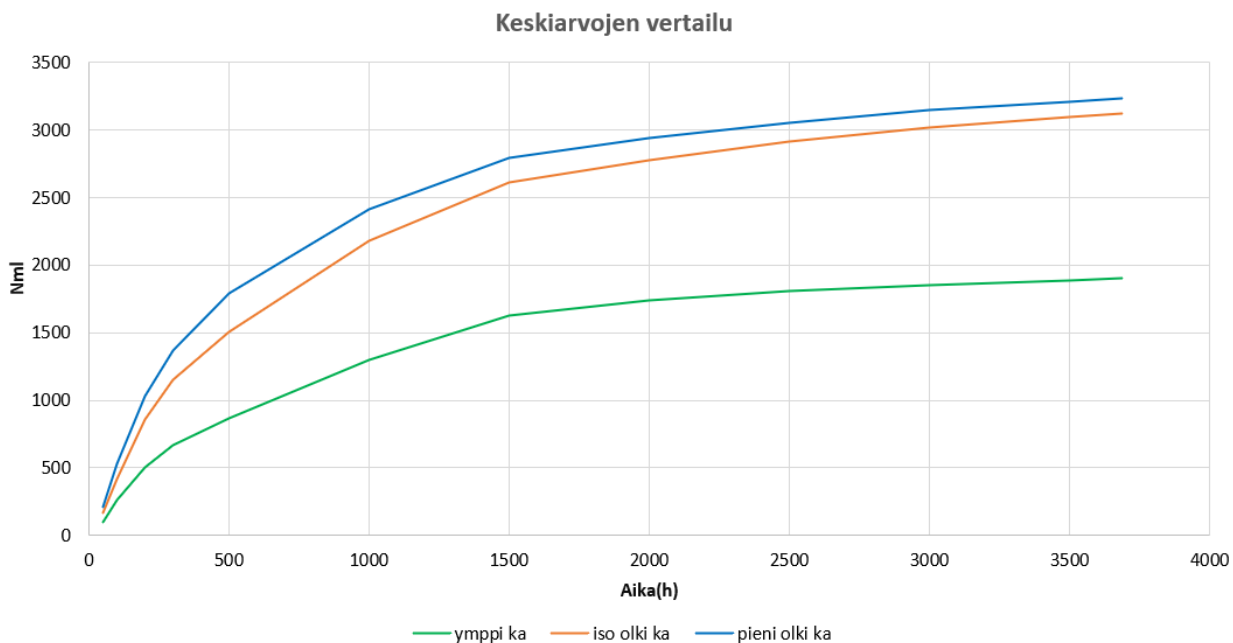


Figure 1 Rinnakkaisnäytteiden keskiarvoja havainnollistava kuvaaja

5.2 Pohdintaa

Vaikka tehdyssä tutkimuksessa saatiin oljesta tuotettua metaania sekä pienemmän palakoon paremmuudesta näyttöä, kaksi epäkuntoista koepulloa heikensi tulosten luotavuutta. 0-näytteiden sekä ison palakoon koepulloista kahdesta saatiin hyväksyttävä tulos. Lisäksi olkinäytteiden heterogeenisyys saattoi aiheuttaa hajontaa tuloksissa. Toisaalta tämä olisi todennäköisesti tilanne myös tilakoon biokaasulaitokseen syötettävän oljen kanssa. Olkien palakoissa oli käytettävissä olevista työkaluista johtuen hieman hajontaa. Palakokojen odotettua pienempi vaikutus metaanintuottoon on hyväkin tulos: oljen silppuaminen on aikaa sekä energiaa vaativa toimenpide.

5.3 Johtopäätökset

Kirjallisten lähteiden sekä suoritetun tutkimuksen valossa oljella on Suomessa potentiaalia biokaasun tuotannon raaka-aineena. (Dai ym. 2019) Jo pienellä (1,25%) oljen li-

säyksellä saatiin merkittävä kasvu metaanintuottoon. Palakoolla ei huomattu olevan juurikaan vaikutusta metaanintuottoon. Jatkotutkimukseksi sopisi entistä pienemmät palakoot ja suurempi kokoero pienimmän ja isoimman palakoon välillä. Näin ollen tutkimus olisi arvojen puolesta lähempänä Dain tutkimusta ja selkeämpiä johtopäätöksiä voitaisiin tehdä. Oljen pienestä usuudesta johtuen olisi myös olennaista tutkia, lisääisikö oljen määrän kasvattaminen metaanin tuotantoa. Lisätutkimusta vaatii parhaimmat ja taloudellisesti kannattavimmat esikäsittelymenetelmät oljen metaanintuoton maksimoimiseksi. Lisäksi oljen toimivuudesta eri laitos- ja reaktoryypeissä tarvitaan lisätietoa.

LÄHTEET

Bioenergy in germany facts and figures 2019. Viitattu 27.4.2020 http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/broschuere_basisdaten_bioenergie_2018_engl_web_neu.pdf

Biogas production by region and by feedstock type, 2018. IEA. 2020. Viitattu 14.5.2021 <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/biogas-production-by-region-and-by-feedstock-type-2018>

Motiva. 2018. Biokaasun tuotanto maatilalla. Viitattu 25.3.2021 https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf

Biokierto.fi Suomen Biokaasulaitokset. Viitattu 23.3.2021 <https://biokierto.fi/>

Bioprocess control 2020. AMPTS II - methane potential analysis tool. Viitattu 27.4.2020 <https://www.bioprocesscontrol.com/products/ampts-ii/>

Chai, C.; Dai, L.; Dai, X. & Hua, Y. 2019. Particle size reduction of rice straw enhances methane production under anaerobic digestion. Bioresource technology volume 293. Viitattu 26.4.2020 <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.turkuamk.fi/science/article/pii/S0960852419312738>

Demonstrations on biogas production in Europe. Etip bioenergy. 2021. Viitattu 20.3.2021 <https://www.etipbioenergy.eu/>

EBA statistical report 2020. Viitattu 26.4.2021 <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2020/>

Kymäläinen, M.; Pakarinen O. 2015 Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja loppuotteiden hyödyntäminen. Viitattu 13.4.2021 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Euroopan parlamentti. Mitä hiilineutraalius tarkoittaa ja miten se saavutetaan 2050 mennessä? 2020. Viitattu 20.10.2020 <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20190926STO62270/mita-hiilineutraalius-tarkoittaa-ja-miten-se-saavutetaan-2050-mennessa>

Motiva 2020. Bioenergiasanastoa. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/bioenergiasanastoa Viitattu 26.5.2021

Mäkinen Marko. 2015. Laitetaanko tankki täyteen? Viitattu 14.9.2020 <https://moottori.fi/liikenne/jutut/laitetaanko-tankki-tayteen/>

Palmio Anne. 2019 Anaerobinen mädätys – arvon luominen jätteestä. Viitattu 13.9.2020 <https://www.vaisala.com/fi/blog/2020-01/anaerobinen-madatys-arvon-luominen-jatteesta>

Piesala Pirjo. 2021. Luovasti luonnonvaroista. Viitattu 14.9.2020 <https://www.oph.fi/fi/oppimateriaali/luovasti-luonnonvaroista/suomen-luonnonvarat/biomassa>

Riihimäki, M.; Mahal, K.; Suoniemi, J.; Nurmio, J.; Sirkiä, S.; Marttinen, S.; . . . Winqvist, E. (2014). Biokaasulaskuri.fi Biokaasulaskurin käyttöohje. Ukipolis Oy, MTT. Viitattu 23.8.2020 <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/cms/laskurit/biokaasulaskuri/biokaasulaskurin-kayttoohje>

Stantardi SFS 3008. 2000. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen. Viitattu 24.10.2020 <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/SFS/ID2/3/1004.html.stx>

Suomen biokierto & biokaasu RY. 2020. Biokaasu2030. Viitattu 18.4.2021 <https://biokierto.fi/biokaasu/biokaasu2030/>

Sri Bala Kameswari, K., Chitra Kalyanaraman, Porselvam, S. (2012) Optimization of inoculum to substrate ratio for bio-energy generation in co-digestion of tannery solid wastes. Clean Techn Environ Policy 14, 241–250. Viitattu 27.5.2021 <https://doi.org/10.1007/s10098-011-0391-z>

Työ- ja elinkeinoministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö ja valtiovarainministeriö. 2020 Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti. Viitattu 13.4.2021 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM_2020_3_Biokaasuohjelmaa%20valmisteleavan%20tyoryhman%20loppuraportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ucar. 2012. Methane. Viitattu 7.7.2021 <https://scied.ucar.edu/learning-zone/how-climate-works/methane>

Winqvist Erika. 2018. Luonnonvarakeskus. Viitattu 14.10.2020 <https://www.luke.fi/blogi/suomen-biokaasupotentiaali-kayttoon-vastaamaan-ilmastohaasteeseen/>

